

Trabajo de Final de Grado

## **Grado en Tecnologías Industriales**

# **Desarrollo de un sistema electrónico de puntuación manual de pádel**

### **MEMORIA**

**Autor:** Carolina Viciano Moyano  
**Director:** Juan Manuel Moreno Eguilaz  
**Convocatoria:** Junio 2018



Escuela Técnica Superior  
de Ingeniería Industrial de Barcelona





## Resumen

Hoy en día, está muy de moda jugar al pádel. Por ese motivo se ha desarrollado un sistema de puntuación electrónico con control remoto, para que el usuario aficionado a este deporte pueda disfrutar con amigos sin tener que preocuparse de sumar puntos.

En un principio, se ha hecho un estudio de mercado, no únicamente para saber si a los usuarios que juegan habitualmente les atraía este producto a nivel comercial, sino también para saber si existían empresas que fabricaran sistemas electrónicos con control remoto.

Seguidamente, para llevar a cabo este proyecto se han utilizado conocimientos de electrónica, como el uso de dispositivos visualizadores 7 segmentos, un módulo de radiofrecuencia y el uso de un microcontrolador entre otros, para el prototipo del hardware. Por otro lado, se ha creado un programa informático escrito en lenguaje C para microcontrolador que controla el estado de los visualizadores y la correcta puntuación del partido utilizando autómatas de Moore.

Se ha considerado todo el reciclaje de los componentes que lleva el prototipo para un menor impacto ambiental y reducción de contaminantes.

Con unos resultados positivos tanto del estudio de mercado, como del impacto ambiental, se puede afirmar que el prototipo funciona correctamente y se podría comercializar, siempre y cuando se diseñase un circuito impreso PCB (*Printed Circuit Board*) y un encapsulado adecuado para el producto final.

# Sumario

<b>RESUMEN</b>	<b>3</b>
<b>SUMARIO</b>	<b>4</b>
<b>1. GLOSARIO</b>	<b>7</b>
<b>2. PREFACIO</b>	<b>9</b>
2.1. Origen del proyecto .....	9
2.2. Motivación.....	9
2.3. Requerimientos previos.....	9
<b>3. INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
3.1. Objetivos del proyecto .....	11
3.2. Alcance del proyecto .....	11
<b>4. ESTUDIO DE MERCADO</b>	<b>12</b>
4.1. Marcadores de pádel comerciales .....	12
4.2. Estadísticas del cliente sobre el producto.....	13
<b>5. ESPECIFICACIONES</b>	<b>18</b>
5.1. Dispositivos electrónicos .....	18
<b>6. PROPUESTA</b>	<b>24</b>
6.1. Propuesta de Hardware .....	24
6.2. Propuesta de Software.....	29
<b>7. VALIDACIÓN Y TEST</b>	<b>35</b>
7.1. Pruebas de Hardware .....	35
7.1.1. Prueba 1.....	35
7.1.2. Prueba 2.....	36
7.2. Pruebas de Software.....	37
7.2.1. Prueba 1.....	37
7.2.2. Prueba 2.....	38
<b>8. DISEÑO Y DESARROLLO DE LA CUBIERTA</b>	<b>39</b>
8.1. Tipo de material de la cubierta.....	39
<b>9. PRESUPUESTO</b>	<b>44</b>
9.1. Costes de trabajo y amortización.....	44
9.2. Costes del prototipo.....	45



<b>10. IMPACTO SOBRE EL ENTORNO</b>	<b>48</b>
10.1. Impacto ambiental de los componentes del hardware .....	48
10.2. Impacto ambiental de los materiales de la cubierta .....	49
<b>11. AGRADECIMIENTOS</b>	<b>50</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>51</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>52</b>
Referencias bibliográficas .....	52
Bibliografía complementaria .....	53



# 1. Glosario

<b>Ad</b>	<i>Advantage</i> ; Terminología del tenis o pádel para indicar que un jugador necesita un punto más para ganar el juego.
<b>Amperio</b>	Medida de la intensidad de corriente eléctrica que circula por un sistema eléctrico o electrónico.
<b>Arduino</b>	Compañía de desarrollo de hardware y software libre.
<b>ASK</b>	<i>Amplitud Shift Keying</i> ; forma de modulación de onda electromagnética, en la cual son representados los datos digitales como variaciones de la amplitud de onda portadora en función de los datos a enviar.
<b>ATMEL</b>	<i>Advanced Technology for MEmory and Logic</i> ; compañía de fabricación de hardware.
<b>BJT</b>	<i>Bipolar Junction Transistor</i> ; dispositivo electrónico que permite controlar el paso de corriente o voltaje a través de sus terminales.
<b>Bit</b>	<i>Binary digit</i> ; medida de almacenamiento de memoria digital que puede ser 0 o 1 en sistema de numeración binario.
<b>Byte</b>	Unidad de información de base utilizada en computación equivalente a un conjunto ordenado de bits.
<b>EEPROM</b>	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i> ; tipo de memoria ROM que puede ser programada y reprogramada.
<b>Hardware</b>	Conjunto de componentes físicos que constituyen un sistema electrónico.
<b>LED</b>	<i>Light-Emitting Diode</i> ; fuente de luz constituida por un material semiconductor con terminales.
<b>PCB</b>	<i>Printed Circuit Board</i> ; superficie constituida por pistas de material conductor laminadas sobre una base no conductora que permite la conexión de un conjunto de componentes electrónicos.
<b>PE</b>	<i>Polyethylene</i> ; plástico sintético formado por la síntesis química del producto químico de etileno.
<b>PET</b>	<i>Polyethylene terephthalate</i> ; resina plástica derivada del petróleo que

pertenece al conjunto de materiales sintéticos del poliéster.

**PIC**

*Peripheral Interface Controller*; conjunto de microcontroladores fabricados por la empresa Microchip Technology Inc.

**PVC**

*Polyvinyl Chloride*; plástico sintético formado por la síntesis química del producto químico de cloruro de vinilo.

**ROM**

*Read-Only Memory*; medio de almacenamiento utilizado en dispositivos electrónicos que solamente permite la lectura de la información y no su escritura.

**Software**

Conjunto de componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas mediante la ejecución de instrucciones.

**SRAM**

*Static Random Access Memory*; memoria que mantiene los datos mientras el sistema está alimentado.

**Tie-Break**

Sistema de desempate deportivo.

**Timer**

Sistema con frecuencia programable que permite medir el tiempo.

**UV**

*Ultra Violet*; radiación electromagnética emitida por un cuerpo.

## 2. Prefacio

A lo largo de mi estancia en la universidad, he descubierto mi gran interés en la electrónica y en el sector de las energías tanto renovables como las no renovables. En las asignaturas de Proyecto I y Proyecto II, aprendí a nivel práctico el funcionamiento de LEDs (*Light-Emitting Diode*), microcontroladores PIC y *Arduino*, así como diversos módulos electrónicos, lo que me motivó para realizar un trabajo de final de grado, relacionado con los microcontroladores.

### 2.1. Origen del proyecto

Durante mi estancia en una empresa para hacer prácticas, conocí a un ingeniero electrónico especializado en robótica y hablando un día sobre los proyectos posibles con microcontroladores, me sugirió la idea de implementar un marcador de puntos de pádel porque se quejaba de equivocarse al contarlos.

Resaltó la idea de hacerlo con control remoto para que fuera más útil para cualquier usuario aficionado a ese deporte.

### 2.2. Motivación

Debido a que cuando era más pequeña estuve jugando al tenis en un club, deporte muy semejante al pádel, me entusiasmó la idea que me dio mi compañero de trabajo y fue una de las motivaciones que me llevaron a desarrollar este proyecto.

Otra motivación importante fue el haber realizado proyectos anteriormente, relacionados con la electrónica y tras haber cursado dicha asignatura, me ha influido de forma positiva para el interés de todo lo relacionado con módulos electrónicos, hardware y software.

### 2.3. Requerimientos previos

Para la realización de este proyecto se necesitan conocimientos sobre programación de *Arduino*, el microcontrolador usado. Este tipo de programación no se enseña en la universidad de forma obligatoria, y previamente, se ha tenido que consultar el manual de programación y muchos ejemplos en internet, para entender mejor cómo poder programar el software del proyecto.



## **3. Introducción**

### **3.1. Objetivos del proyecto**

El objetivo principal de este proyecto es el desarrollo de un sistema electrónico con control remoto para mejorar la comodidad del usuario jugador aficionado al pádel, de manera que no cometa errores en la puntuación de los partidos. Se ha buscado una idea que ya existía como tal, porque hay marcadores electrónicos en el mercado, pero con la innovación de introducir el control remoto, siendo el principal objetivo, el funcionamiento de éste sobre un prototipo inicial. Por otro lado, un objetivo secundario es diseñar un sistema de un tamaño más reducido para que sea más fácil y menos pesado su transporte.

### **3.2. Alcance del proyecto**

El alcance del proyecto abarca:

- Estudio de mercado.
- Especificaciones del sistema.
- Diseño del sistema de puntuación.
- Diseño e implementación del hardware necesario.
- Diseño e implementación del software necesario.
- Construcción de un prototipo de laboratorio para demostrar su funcionamiento.

## 4. Estudio de mercado

Uno de los principales motivos del proyecto es la creación de un prototipo sobre un producto que no se encuentre en el mercado, o al menos no a gran escala. Para ello, se ha realizado un estudio de mercado en el que se ha buscado qué empresas fabrican marcadores de pádel, cómo son estos marcadores y finalmente una encuesta a usuarios que suelen jugar habitualmente.

### 4.1. Marcadores de pádel comerciales

Lo primero que se ha buscado son los principales vendedores de marcadores de pádel que existen, que son las que se muestran en la Fig. 4.1.1.



Fig. 4.1.1. Empresas fabricantes de marcadores de pádel. Fuente: propia.

Seguidamente, se ha hecho una clasificación de los tipos de marcadores que hay en el mercado, según la apariencia y manera de funcionar como se puede apreciar en la Fig. 4.1.2. Se han encontrado marcadores manuales de pulsera, marcadores electrónicos de pulsera, marcadores electrónicos de botones, marcadores manuales de cartón y marcadores electrónicos profesionales.



Fig. 4.1.2 Tipos de marcadores comerciales. Fuente: propia.



Seguidamente en una tabla se han introducido los precios aproximados, de los marcadores comerciales descritos anteriormente.

Tipo de marcador	Precio aproximado
Marcador de pulsera manual	9 €
Marcador de pulsera electrónico	75 €
Marcador electrónico	699 €
Marcador manual de cartón	273 €
Marcador profesional electrónico	2.599,95 €

Tabla. 4.1.1 Precios aproximados de marcadores comerciales. Fuente: propia.

Cabe destacar que los precios son considerablemente altos, a excepción del marcador de pulsera manual, tal y como muestra la Tabla 4.1.1.

## 4.2. Estadísticas del cliente sobre el producto

Para determinar si al cliente le gustaba la idea del producto se hizo un formulario online con diversas preguntas, que se muestran en la Tabla 4.2.1.

### Preguntas del cuestionario

¿Juegas a pádel habitualmente?
¿Has usado alguna vez un marcador de puntos para jugar al pádel?
¿En caso de haber usado un marcador, en qué tipo de deportes?
¿Qué tipo de marcador crees que te sería más útil?
Si quisieras comprar un marcador de puntos para pádel, ¿cuánto pagarías?
¿Crees que podría ser útil comprar un marcador de puntos portátil con mando a distancia, para pádel?

Tabla. 4.2.1. Preguntas del cuestionario al usuario. Fuente: propia.

A continuación se muestran los resultados obtenidos.

### ¿Juegas al Pádel con amigos habitualmente?

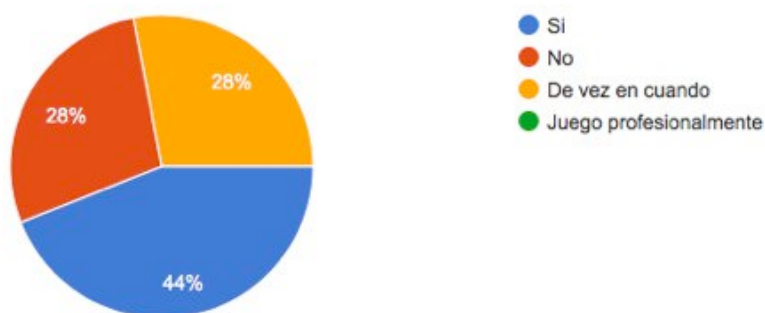


Fig. 4.2.1. Resultados primera pregunta. Fuente: propia.

Como primera pregunta de la encuesta, se quería saber cuántos encuestados jugaban habitualmente o de vez en cuando, ya que son los usuarios que conocen el deporte y que pueden valorar más rigurosamente la propuesta del proyecto.

### ¿Has usado alguna vez un marcador de puntos para jugar a Pádel?



Fig. 4.2.2. Resultados segunda pregunta. Fuente: propia.

Como se puede comprobar en la Fig. 4.2.2., se han obtenido resultados muy positivos porque prácticamente ninguno de los encuestados ha utilizado un marcador de puntos y por lo tanto, se puede crear la necesidad de usar uno. Por otro lado, con esta pregunta se puede comprobar también, que no existen marcadores comerciales que se vendan a nivel usuario en tamaño portátil y manejable, de forma que la idea del proyecto resulte innovadora, sin una empresa competidora fabricante de marcadores.

#### En caso de haber usado un marcador, ¿para que tipo de deportes?

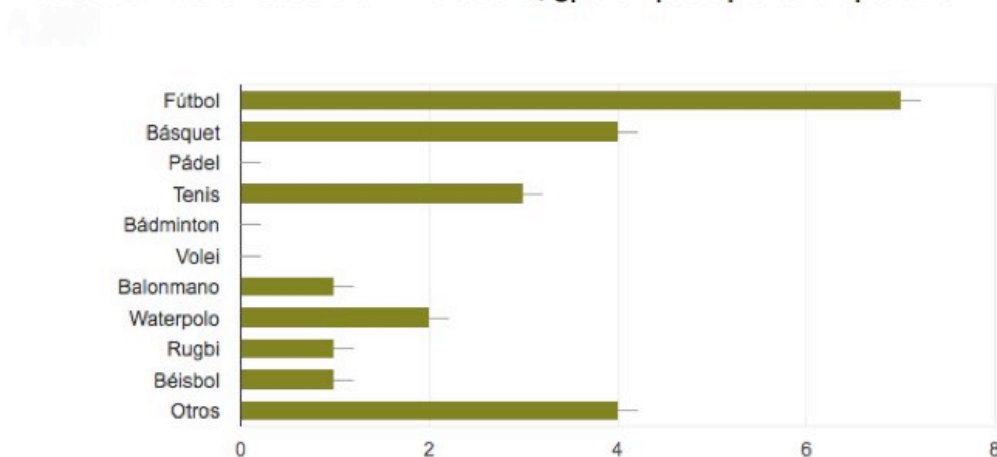


Fig. 4.2.3. Resultados tercera pregunta. Fuente: propia.

En la Fig. 4.2.3., se ha querido saber si los usuarios usaban habitualmente marcadores para algún otro tipo de deporte y en qué deportes se usan más. El tenis que tiene una reglamentación y puntuación muy semejante al pádel, tiene un porcentaje bastante alto de usuarios que usan marcadores. Esto nos orienta hacia su viabilidad de comercialización por su semejanza con el tenis.

A continuación se plantea a los encuestados la utilidad de los marcadores existentes en el mercado y entre ellos la propuesta del proyecto, para comprobar si es una idea que agrada al usuario y comprobar si la propuesta del proyecto cubre la necesidad planteada anteriormente.

### ¿Qué tipo de marcador crees que te sería más útil?

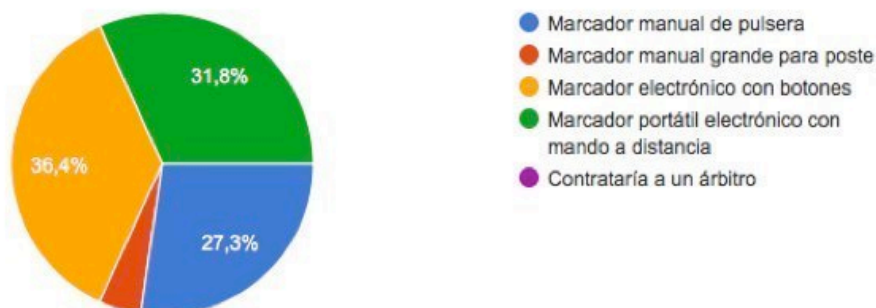


Fig. 4.2.4. Resultados cuarta pregunta. Fuente: propia.

Los resultados de la Fig. 4.2.4., son positivos porque los marcadores más votados son los electrónicos con un 36,4% el de botones normal y un 31,8% el que tiene control remoto. Por lo tanto, se puede concluir que es una idea que agrada y que atrae al cliente.

### Si quisieras comprar un marcador de puntos para Pádel, ¿cuánto pagarías?

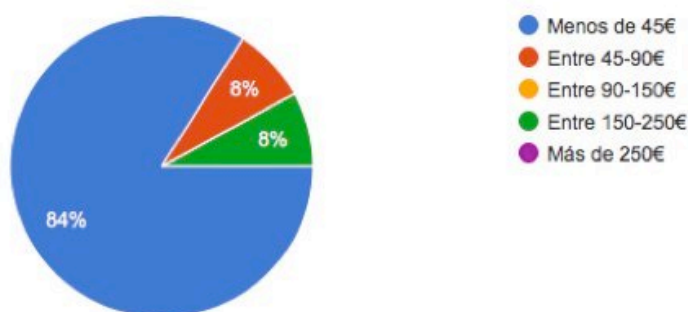


Fig. 4.2.5. Resultados quinta pregunta. Fuente: propia.

Se puede decir que el prototipo de marcador propuesto está pensado para crear un producto para el usuario a nivel de ocio, no como un producto de competición profesional. Por ese motivo, se ha encuestado a personas que juegan al pádel como diversión con amigos. Es por eso que el resultado de la encuesta refleja la necesidad de por un precio por debajo de los marcadores que se venden profesionalmente. Sería un problema para la comercialización del producto si los costes fueran superiores a 45 € como se observa en la Fig. 4.2.5.

**¿Crees que podría ser útil comprar un marcador de puntos portátil con mando a distancia, para Pádel?**



Fig. 4.2.6. Resultados sexta pregunta. Fuente: propia.

Por último se ha hecho una pregunta genérica sobre la utilidad de un marcador para este tipo de deporte, y como se puede comprobar los resultados que se muestran en la Fig.4.2.6., son muy positivos porque los usuarios lo encuentran muy útil, dada la necesidad de no equivocarse con la puntuación.

Como los resultados han sido muy positivos se podría llevar a cabo el proyecto a nivel comercial, siempre y cuando se cumplan las especificaciones de precio mencionadas anteriormente.

## 5. Especificaciones

Para el correcto desarrollo del prototipo se deben establecer unas especificaciones a nivel técnico. Entre ellas, todos los dispositivos y componentes que se requieren para el hardware.

### 5.1. Dispositivos electrónicos

Debe tener un microcontrolador que se programará posteriormente para que haga todas las funciones de control y comunicaciones. Para poder conectar todas las salidas digitales que se necesitarán, se ha optado por una placa, con un chip de ATMEL (*Advanced Technology for Memory and Logic*) [1]. El motivo de utilizar este tipo de placa y no una mas pequeña es que se requieren 22 salidas digitales y ésta permite todas esas conexiones. Además, dado que el programa será muy grande se necesita mucha memoria de programa ROM (*Read-Only Memory*). Para que los segmentos se enciendan correctamente se recurre a un sistema de encendido multiplexado en el tiempo.

En la Tabla 5.1.1. se muestran las características del microcontrolador escogido para el proyecto.

Voltaje de operación	5V
Corriente de operación	40mA
Rapidez del reloj	16MHz
Salidas digitales	54
Memoria flash	256KB
Memoria SRAM	8KB
Memoria EEPROM	4KB

Tabla.5.1.1. Características del microcontrolador escogido. Fuente: [<https://kitskart.com>]

Para indicar los puntos del marcador se usarán dispositivos visualizadores de 7 segmentos. Cada equipo tendrá 5 visualizadores, 3 correspondientes a los sets y 2 correspondientes a los puntos de juego. Para una claridad mayor en la visualización de los puntos se usarán 2 colores diferentes, verde para los puntos de los sets y rojo para los puntos de juego, como se observa en la Fig. 5.1.1.

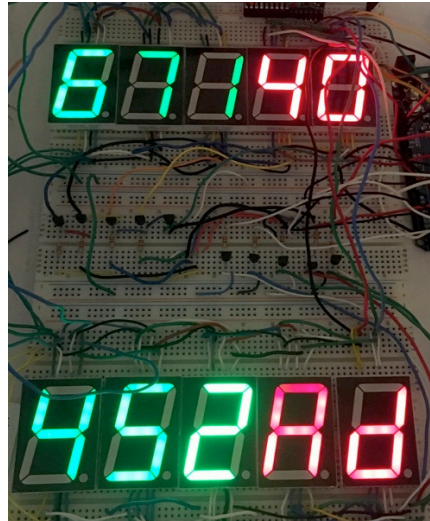


Fig. 5.1.1. Visualizadores 7 segmentos verde y rojo. Fuente: propia.

Los dispositivos electrónicos deberán ser suficientemente grandes para que se pueda ver a distancia. Por lo tanto, se opta por un visualizador de unas dimensiones de 44 x 30,6 x 8mm y de tipo ánodo común (correspondiente al modelo 11501 de la Fig. 5.1.2).

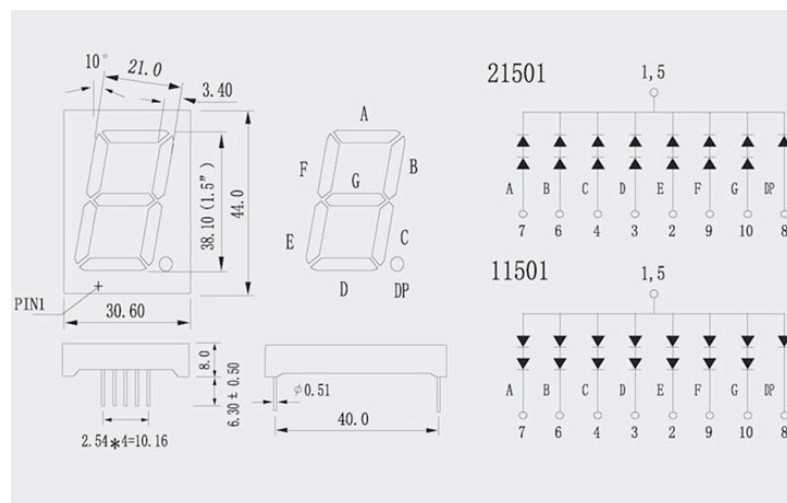


Fig.5.1.2. Esquema de los 7 segmentos, con el número 11501 correspondiente a las conexiones de ánodo común y sus medidas. Fuente: [<https://es.aliexpress.com>].

En la Tabla 5.1.2. se muestran las características mas importantes de funcionamiento de los visualizadores 7 segmentos rojo y verde.

Visualizador 7 segmentos verde		Visualizador 7 segmentos rojo	
Corriente de operación	-800 mA	Corriente de operación	-800 mA
Voltaje de operación	6 V	Voltaje de operación	4 V
Nº de pines	10	Nº de pines	10
Tipo de visualizador	Ánodo común	Tipo de visualizador	Ánodo común

Tabla.5.1.2. Características de funcionamiento de los visualizadores 7 segmentos. Fuente: propia.

Para cambiar la puntuación de un equipo u otro, se usará un mando a distancia por radiofrecuencia, como se observa en la Fig. 5.1.3., con 2 botones para cada equipo, que permiten subir la puntuación o bajarla, en caso de error. Aparte del mando también se utilizará un receptor de radiofrecuencia [2], que se sincronizará con el mando a distancia. Se ha optado por este tipo de transmisión y no por infrarrojos porque los marcadores suelen estar al aire libre y los infrarrojos tienen interferencias con la radiación solar, a diferencia de la radiofrecuencia, que funciona mejor. A continuación, en la Tabla 5.1.3., se indican los parámetros más importantes que se requieren para éste módulo electrónico de proyecto.

Frecuencia de operación	315MHz
Número de canales	4
Cobertura de señal	40-60 m
Corriente de operación	10mA
Voltaje de operación	5V
Longitud de antena para módulo	24cm

Tabla.5.1.3. Características del control remoto. Fuente: [https://www.ebay.es].



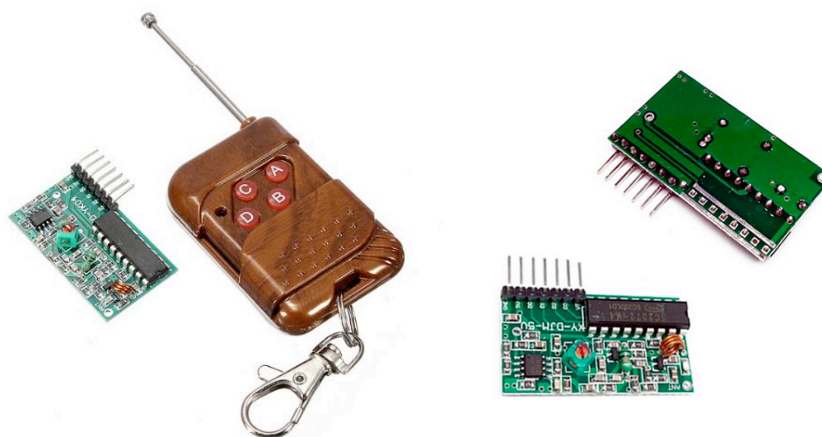


Fig.5.1.3. Módulo radiofrecuencia con mando de 4 canales. Fuente: propia.

La señal que se utiliza para el módulo de radiofrecuencia es una señal unipolar positiva, es decir, que cuando se pulsa un botón (pulsador) del mando, al receptor le llega una señal con un flanco de subida a 5V, que es el voltaje de operación y cuando se deja de pulsar el botón del mando, vuelve a 0V con un flanco de bajada. Este flanco no tiene una duración exacta, eso quiere decir, que puede durar 1 segundo o puede durar más, como se indica en la Fig. 5.1.4., evitando que este pequeño inconveniente se vea involucrado en la respuesta de la señal.

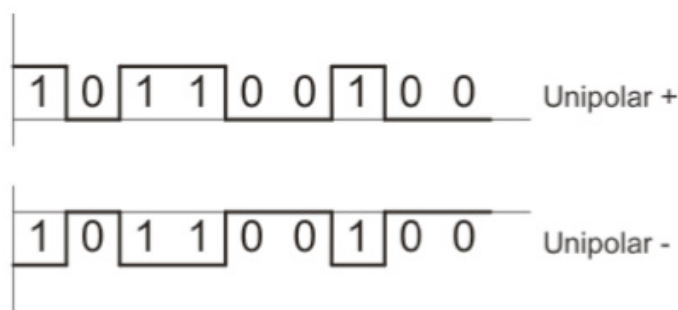


Fig.5.1.4. Tipo de señal que recibe el microcontrolador. Fuente: [http://www.bolanosdj.com].

Los módulos de radiofrecuencia utilizados, cuando reciben señales, lo hacen mediante una modulación ASK (*Amplitud Shift Keying*) [3], que significa modulación por desplazamiento de amplitud como se observa en la Fig. 5.1.5.

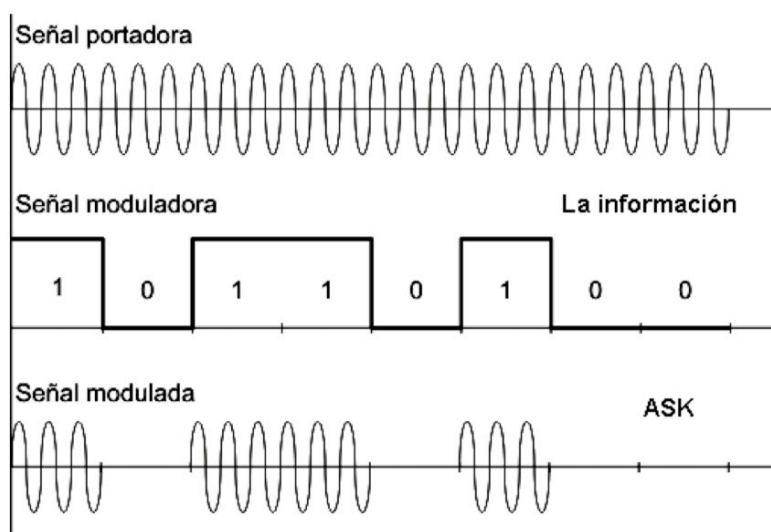


Fig.5.1.5. Tipo de modulación del módulo. Fuente: [http://www.bolanosdj.com].

El prototipo también dispondrá de transistores bipolares BJT (*Bipolar Junction Transistor*) de tipo pnp [4] como el de la Fig. 5.1.6., que trabajaran como interruptores unidireccionales, es decir, que solo circula intensidad en una dirección y tienen una corriente máxima cuando están en conducción y una tensión máxima cuando están en corte.

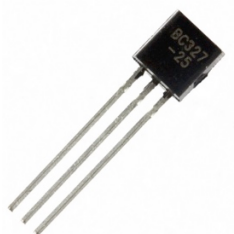


Fig. 5.1.6. Transistor BJT de tipo pnp. Fuente: [http://portalelectronica.com]

Los transistores que se utilizarán tendrán las características de la Tabla 5.1.4.

Voltaje del Emisor	-45 V
Voltaje de la Base	-50 V
Voltaje del Colector	-5 V
Corriente de operación	-800 mA
Tipo de transistor	pnp

Tabla. 5.1.4. Características destacadas del transistor BC327. Fuente: propia.

Con los gráficos de funcionamiento, en los cuales el gráfico de la izquierda muestra el encendido y apagado y el gráfico de la derecha muestra el tramo de saturación (OFF) por el que pasa el transistor y el tramo de corte (ON) según la lógica negativa como se puede observar en la Fig.5.1.7., permitiendo que se visualice el número correspondiente en el visualizador 7 segmentos, y permitiendo el paso de corriente según las instrucciones del programa.

Para evitar que los transistores se dañen, se deberá poner una resistencia por cada transistor si es necesario según la corriente y voltaje de operación de los visualizadores 7 segmentos y el microcontrolador.

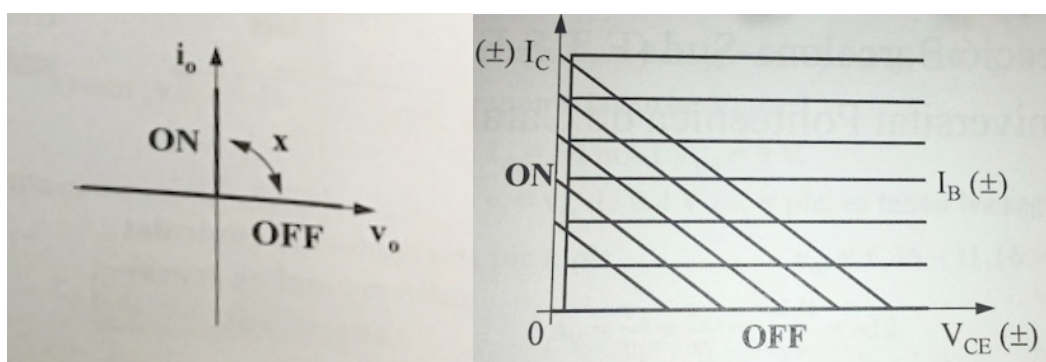


Fig. 5.1.7. Gráficos de funcionamiento del transistor como interruptor. Fuente: Diapositivas del Departamento de Ingeniería Electrónica M2-T7.

El tipo de conexión es el que se indica en la siguiente Fig. 5.1.8., donde se esquematiza de forma genérica con un LED (*Light-Emitting Diode*) cómo se conectarán los transistores funcionando como interruptores a cada uno de los visualizadores 7 segmentos.

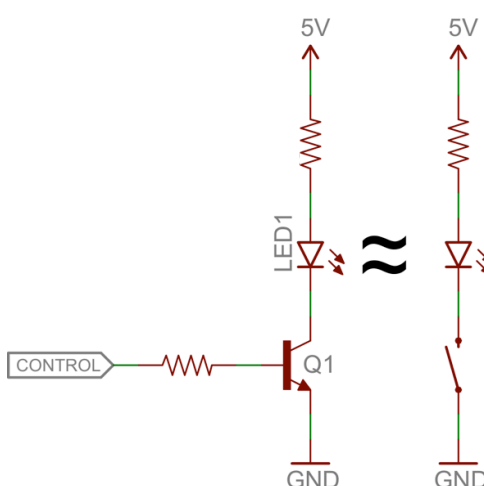


Fig. 5.1.8. Esquema de la conexión LED y transistor como interruptor. Fuente: [www.learn.sparkfun.com].

## 6. Propuesta

Para explicar la propuesta del proyecto se ha dividido en dos grandes términos, la propuesta de hardware, donde se explica toda la parte de conexionado de los dispositivos electrónicos, y la propuesta de software, donde se explica el funcionamiento del programa informático que permite implementar el algoritmo de puntuación del pádel.

### 6.1. Propuesta de Hardware

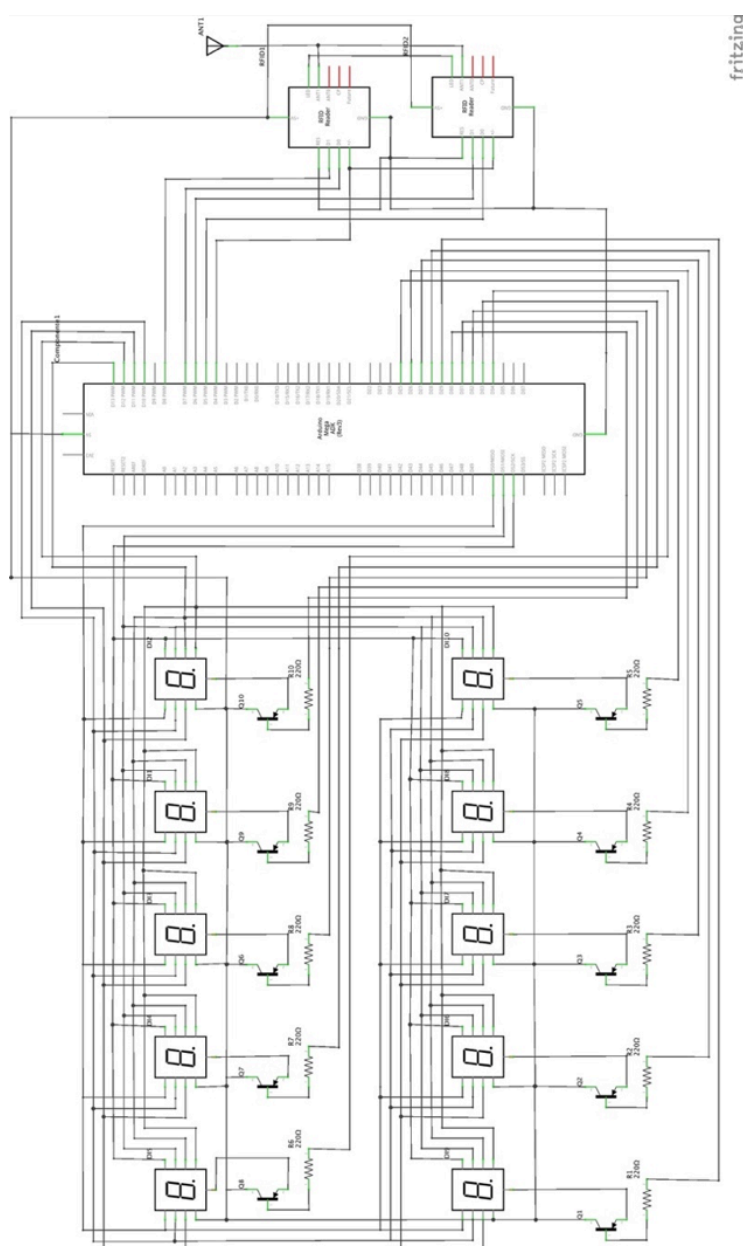


Fig. 6.1.1. Esquema del conexionado. Fuente: propia.

Se han unido entre sí los visualizadores 7 segmentos a un puerto del microcontrolador. De esa manera únicamente hay 7 cables que corresponden a los segmentos nombrados de la A a la G y colocados en los pines de salida digital, del 10 al 13 y del 50 al 52, respectivamente. Estos pines están situados en el puerto B, el cuál se habilitará con el programa informático y de esa manera se simplifica el código, activando un único puerto para todos los segmentos. En la Fig. 6.1.1. se muestran todas las conexiones que tendrá el hardware.

En la Fig. 6.1.2. se muestran las salidas/entradas que tiene el microcontrolador con su nombre correspondiente y las Tablas 6.1.1., 6.1.2., 6.1.3., y 6.1.4. indican para cada pin, qué salida/entrada del dispositivo electrónico se ha conectado y su código correspondiente según el software.

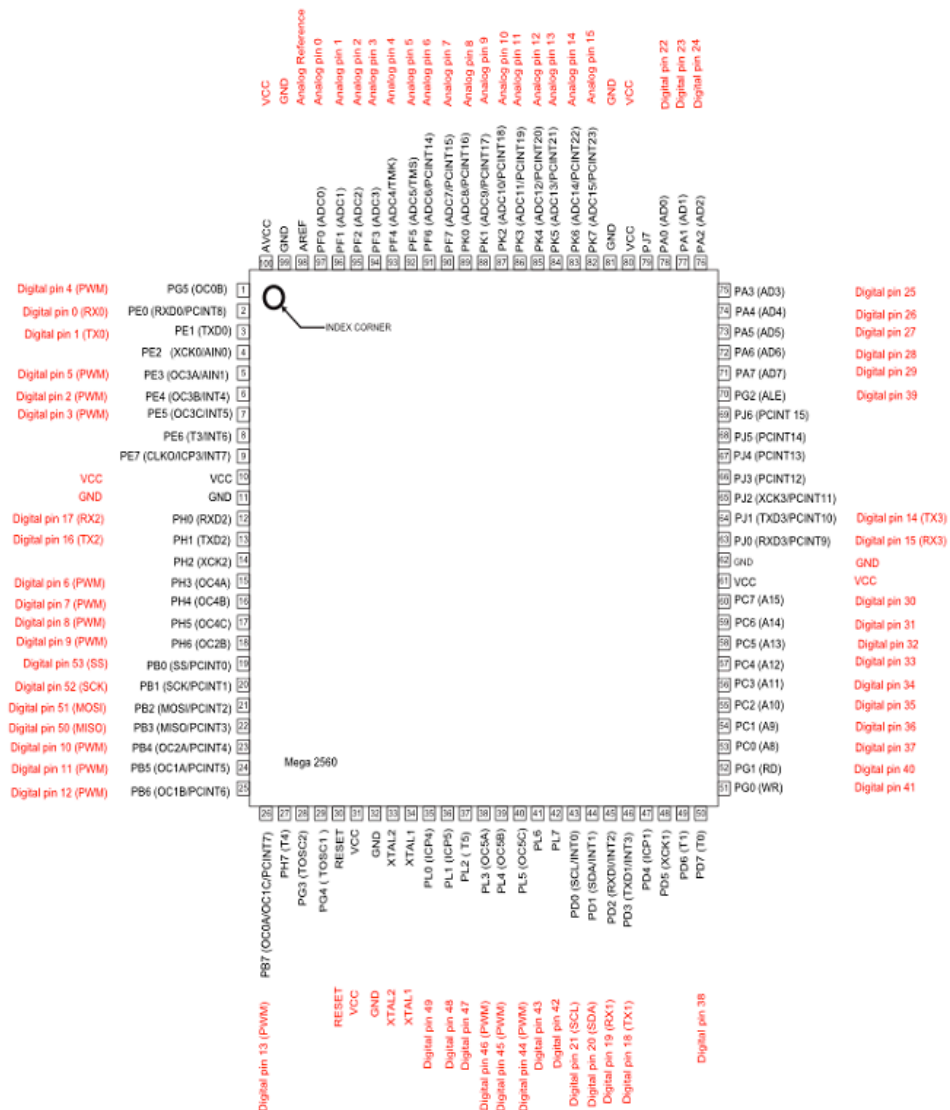


Fig. 6.1.2. Salidas/Entradas del microcontrolador. Fuente: [https://www.arduino.cc].

Nombre/Número de pin	Código para mando radiofrecuencia
Digital pin 4	Detección de señal radiofrecuencia
Digital pin 5	Botón C
Digital pin 6	Botón A
Digital pin 7	Botón D
Digital pin 8	Botón B

Nombre/Número de pin	Código de 7 segmentos
Digital pin 52	G
Digital pin 51	F
Digital pin 50	E
Digital pin 10	D
Digital pin 11	C
Digital pin 12	B

Tabla. 6.1.1. Asignaciones de conexiones al chip parte superior. Fuente: propia.

Nombre/Número de pin	Código para autómatas	Código para el Timer
Digital pin 22	Interruptor D50	i11
Digital pin 23	Interruptor D60	i21
Digital pin 24	Interruptor D70	i31

Tabla. 6.1.2. Asignaciones de conexiones al chip parte izquierda. Fuente: propia.

Nombre/Número de pin	Código de 7 segmentos
Digital pin 13	A

Tabla. 6.1.3. Asignaciones de conexiones al chip parte inferior. Fuente: propia.

Nombre/Número de pin	Código para autómatas	Código para el Timer
Digital pin 25	Interruptor D80	i41
Digital pin 26	Interruptor D90	i51
Digital pin 30	Interruptor D00	i10
Digital pin 31	Interruptor D10	i20
Digital pin 32	Interruptor D20	i30
Digital pin 33	Interruptor D30	i40
Digital pin 34	Interruptor D40	i50

Tabla. 6.1.4. Asignaciones de conexiones al chip parte derecha. Fuente: propia.

A continuación se han conectado los transistores BJT (*Bipolar Junction Transistor*) de tipo pnp, de manera que el colector esta alimentado a 5V y el emisor está conectado al ánodo común de cada uno de los 7 segmentos por separado, de manera que habrá 10 conexiones a ánodo común.

La base del transistor está conectada a una resistencia y posteriormente conectada al microcontrolador en los pines de salida digital, del 30 al 35 para un equipo y del 22 al 26 para el otro equipo. Con la Ec. 6.1., se han calculado las resistencias necesarias para los visualizadores 7 segmentos rojos y los 7 segmentos verdes.

$$i_c = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{R} \quad (\text{Ec. 6.1.})$$

Magnitud	Resultado
$i_c$	-800mA
$V_{cc}$	5V
$V_{LED}$	6V (verde)
$V_{LED}$	4V (rojo)
R (verde)	1,25 Ohms
R (rojo)	-1,25 Ohms

Tabla. 6.1.5. Datos y resultados para el cálculo de las resistencias. Fuente: propia.

Se ha obtenido una R (resistencia) de 1,25 Ohms para los 7 segmentos verdes y una R (resistencia) de -1,25 Ohms para los 7 segmentos rojos, por lo que no es necesario utilizar ninguna resistencia para los visualizadores 7 segmentos rojos pero para los verdes si que se debería poner.

Seguidamente el módulo de radiofrecuencia se ha conectado también al microcontrolador mediante los pines digitales del 4 al 8 dónde el pin 4, corresponde a un pin genérico de recepción de señal y los otros 4 pines corresponden a cada uno de los botones del mando, denominados, A (que permite subir la puntuación un equipo) y C (que permite bajar la puntuación de un equipo en caso de error) y B y D para el otro equipo con el mismo sistema de funcionamiento. También se ha añadido una antena de 315 MHz al módulo de radiofrecuencia para aumentar la intensidad de señal recibida, mejorando la respuesta a una mayor distancia, como se ha especificado inicialmente.



## 6.2. Propuesta de Software

Para la programación del microcontrolador ATMEL (*Advanced Technology for MEMory and Logic*), se ha utilizado el programa *Arduino*, entorno de desarrollo integrado que contiene editor, compilador y programador. El lenguaje utilizado es semejante al lenguaje C [5]. En un principio se definen las diferentes variables que se usarán en el programa y también todas las salidas digitales que se usarán de la placa. Seguidamente se puede unificar los números que se verán en los visualizadores 7 segmentos, en un vector o matriz como se observa en la Fig. 6.2.1., en la memoria de programa ROM (*Read-Only Memory*) del microcontrolador.

```
int segCode[13] = {
    B00000011, //0
    B10011111, //1
    B00100101, //2
    B00001101, //3
    B10011001, //4
    B01001001, //5
    B01000001, //6
    B00011111, //7
    B00000001, //8
    B00001001, //9
    B00010001, //A
    B10000101, //d
    B11111101, //-
};

const int i10 = 30;
const int i20 = 31;
const int i30 = 32;
const int i40 = 33;
const int i50 = 34;

const int i11 = 22;
const int i21 = 23;
const int i31 = 24;
const int i41 = 25;
const int i51 = 26;

const int A = 13;
const int C = 11;
const int D = 10;
const int B = 12;
const int E = 50;
const int F = 51;
const int G = 52;

volatile int D00 = 0;
volatile int D10 = 0;
volatile int D20 = 0;
volatile int D30 = 0;
volatile int D40 = 0;

volatile int D50 = 0;
volatile int D60 = 0;
volatile int D70 = 0;
volatile int D80 = 0;
volatile int D90 = 0;

const int mB = 8;
const int mD = 7;
const int mA = 6;
const int mC = 5;

int lactmB = 0;
int lactmD = 0;
int lactmA = 0;
int lactmC = 0;

int X=0;
int x=0;
int y=0;
int z=0;
int w=0;
int t=0;
int r=0;
int s=0;
int g=0;
int Y=0;
int c=1;
```

Fig. 6.2.1. A la izquierda asignación de código binario a cada número/letra y a la derecha variables del programa. Fuente: propia.

Como se ha mencionado anteriormente, la técnica de control utilizada para gobernar los visualizadores 7 segmentos es un multiplexado del tiempo de encendido. Ello permite ahorrar muchas salidas digitales del microcontrolador, dado que con único puerto se puede controlar los 7 segmentos para todos los visualizadores. Evidentemente habrá que utilizar salidas digitales adicionales del microcontrolador para multiplexar [6] cada uno de los visualizadores.

Para dicho multiplexado en el tiempo es necesario un *Timer* [7], que permitirá generar interrupciones periódicas para activar uno y solo un visualizador cada vez, dado que el puerto de control de los segmentos está compartido. La velocidad de refresco de dichos visualizadores deberá ser suficientemente rápida para que el ojo humano no detecte las intermitencias de los visualizadores, dado que estamos encendiendo y apagando los visualizadores una ronda periódica de activación.

El microcontrolador trabaja a una frecuencia de 16 MHz y para el refresco de los visualizadores se ha escogido una velocidad de 8kHz, utilizando un divisor de frecuencia [8], como se muestra en la Fig. 6.2.2.

```

Serial.begin(9600);
cli();//stop interrupts
//set timer2 interrupt at 8kHz
TCCR2A = 0;// set entire TCCR2A register to 0
TCCR2B = 0;// same for TCCR2B
TCNT2 = 0;//initialize counter value to 0
// set compare match register for 8khz increments
OCR2A = 250;// = (16*10^6) / (8000*8) - 1 (must be <256)
// turn on CTC mode
TCCR2A |= (1 << WGM21);
// Set CS21 bit for 8 prescaler
TCCR2B |= (1 << CS21);
// enable timer compare interrupt
TIMSK2 |= (1 << OCIE2A);

sei();//allow interrupts
    
```

TFG\_sketch\_final2

```

ISR(TIMER2_COMPA_vect)
{
    switch (X) {
    case 0:
        digitalWrite(i51,1);
        PORTB = segCode[D00];
        digitalWrite(i10,0);
        X=X+1;
        break;
    case 1:
        digitalWrite(i10,1);
        PORTB = segCode[D10];
        digitalWrite(i20,0);
        X=X+1;
        break;
    case 2:
        digitalWrite(i20,1);
        PORTB = segCode[D20];
        digitalWrite(i30,0);
        X=X+1;
        break;
    case 3:
        digitalWrite(i30,1);
        PORTB = segCode[D30];
        digitalWrite(i40,0);
        X=X+1;
        break;
    }
    
```

Fig. 6.2.2. A la izquierda el código de inicialización del *timer* para el refresco de visualizadores y a la derecha la rutina del servicio de interrupción correspondiente. Fuente: propia.

Los puntos de juego se han programado siguiendo un autómata de Moore [8], como se puede apreciar en la Fig. 6.2.3., con 18 estados correspondientes a las distintas combinaciones de puntos.

Como se puede apreciar en el diagrama de estados, hay 4 variables de entrada que corresponden a cada uno de los botones del mando a distancia, de manera que la *x* corresponde al botón B, que permite subir de puntuación al equipo 1. Por el contrario la variable *y* corresponde al botón A y permite subir de puntuación al equipo 2. Por otro lado, la variable *w*, permite bajar la puntuación del equipo 1 por si hay un error al pulsar alguno de los botones del mando y de la misma manera, la variable *t*, permite bajar la puntuación del equipo 2. Cuando uno de los dos equipos consigue ganar de dos puntos (considerando diferencia de dos como ganar un juego cuando uno de los equipos está a 40 y gana si el otro equipo esta a 30, o cuando uno de los equipos está a Ad y gana cuando el contrario está a 40), se vuelve al estado denominado *sini* como se observa en la Fig. 6.2.3.

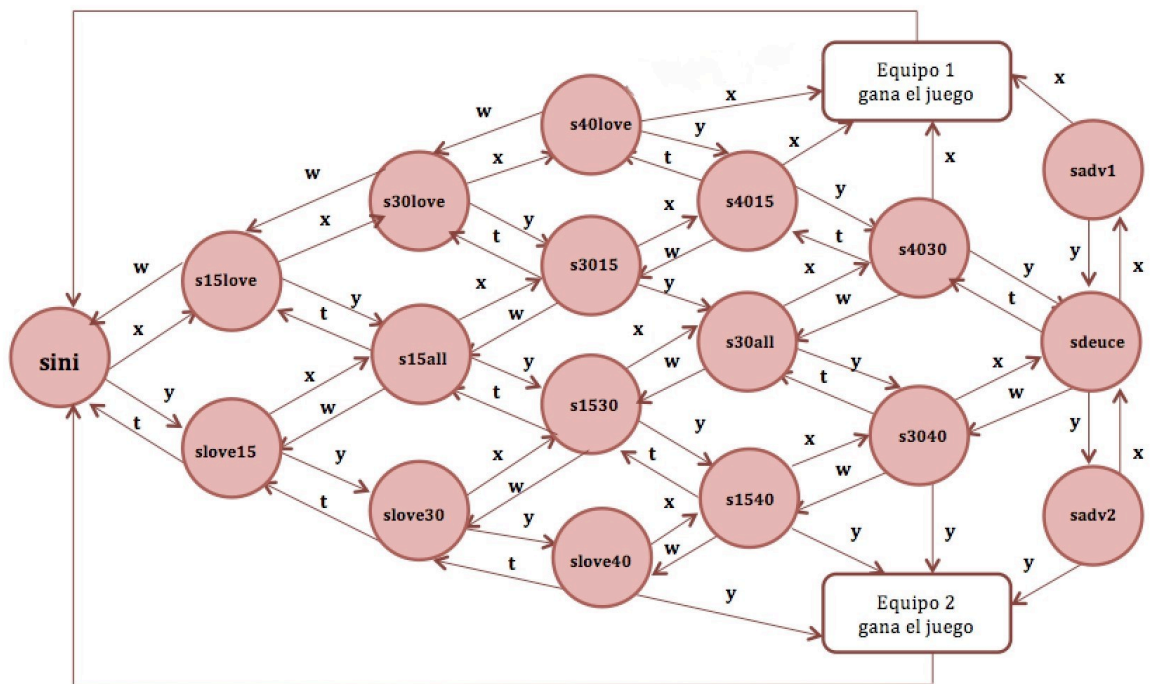


Fig. 6.2.3. Autómata de Moore de los puntos de juego. Fuente: [<http://blog.mikemccandless.com>].

Para contar los juegos, en el pádel se dispone de 3 sets por cada equipo, de manera que para contabilizar esos puntos de set, se utiliza otro autómata, que controla cada set. Dicho autómata es el que se muestra en la Fig. 6.2.4., en el que hay un total de 54 estados. Cada punto del set se incrementa cuando uno de los dos equipos gana un juego, por lo que, este autómata queda fuera del bucle del programa y va incrementando el número que se visualiza en el visualizador 7 segmentos correspondiente.

Por cada set se ha utilizado este autómata, de manera que cuando detecta una finalización de set, es decir, cuando se termina un set y se pasa al set siguiente mediante un contador con la variable *c*, que pasa de valer 1 a valer 2 y el mismo procedimiento para el set 3, en el que *c* pasa a valer 3. Esta variable, que cuenta en qué set se encuentran los jugadores, está dentro de condicionales que determinan si la puntuación tiene una diferencia de 2 y es alguna de las terminaciones que se ven en la Fig. 6.2.4.

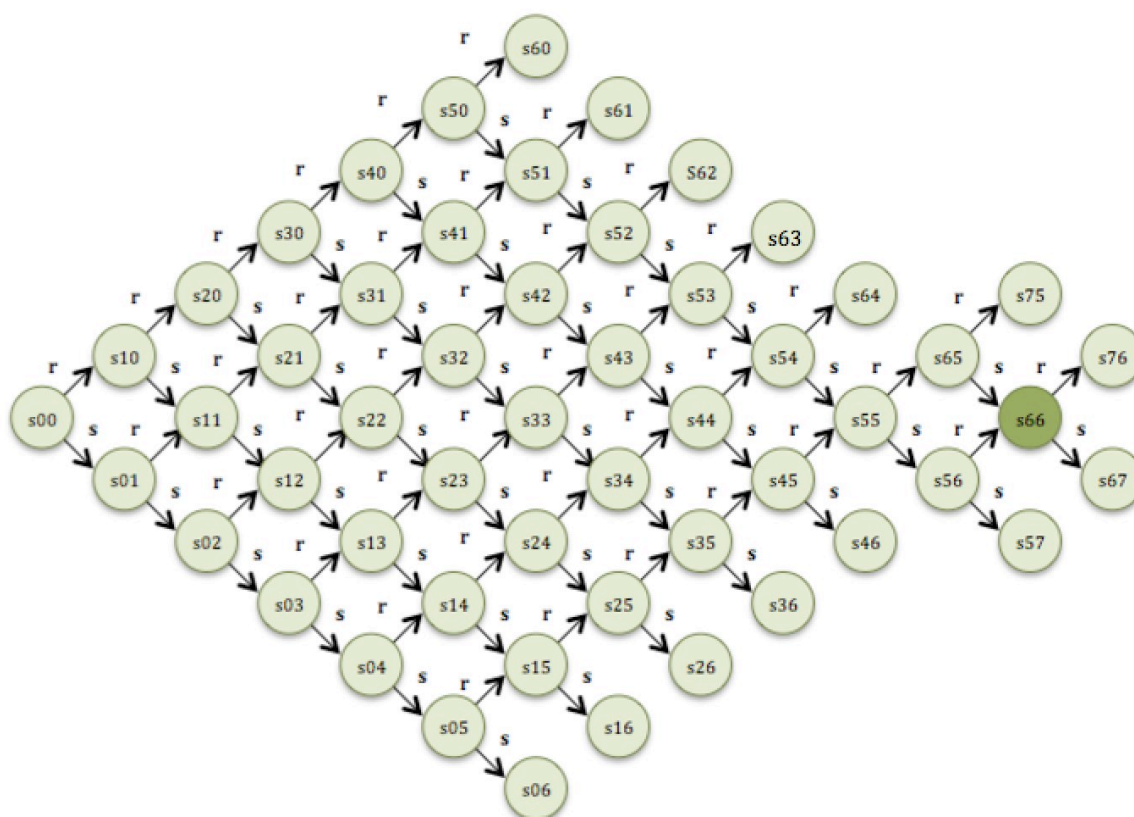


Fig. 6.2.4. Autómata de Moore de los puntos del Set. Fuente: propia.

Cuando se llega al empate a 6, muerte súbita, o también llamado en inglés *Tie-break*, para hacer el desempate se contabiliza de forma distinta, en vez de contar los puntos de juego como (15-30-40...), se cuenta como puntos normales (1-2-3-4...) hasta llegar a 7 y si sigue sin haber una diferencia de 2 puntos, es decir, se llega otra vez a empatar a 6-6 de manera que al pasar a 6-7/7-6 la diferencia no es de dos puntos, se debe desempatar y llegar a dicha diferencia.

Así que este autómata podría llegar hasta los 99-97/97-99, ya que sólo permite cifras de dos dígitos, pero la probabilidad de que no se dé una diferencia de dos puntos va disminuyendo desde el 5-5 hasta la siguientes posibles puntuaciones.

Por ese motivo se ha pensado en poner estados hasta llegar a una probabilidad lo suficientemente baja como para que a lo largo del tiempo se de una puntuación de dicha diferencia. Como puede apreciarse en la Fig. 6.2.5., a partir del empate a 6-6 se ha hecho en genérico los siguientes estados del autómata, en los que la letra a, corresponde a la puntuación de un equipo y la letra b corresponde a la puntuación del equipo contrario.

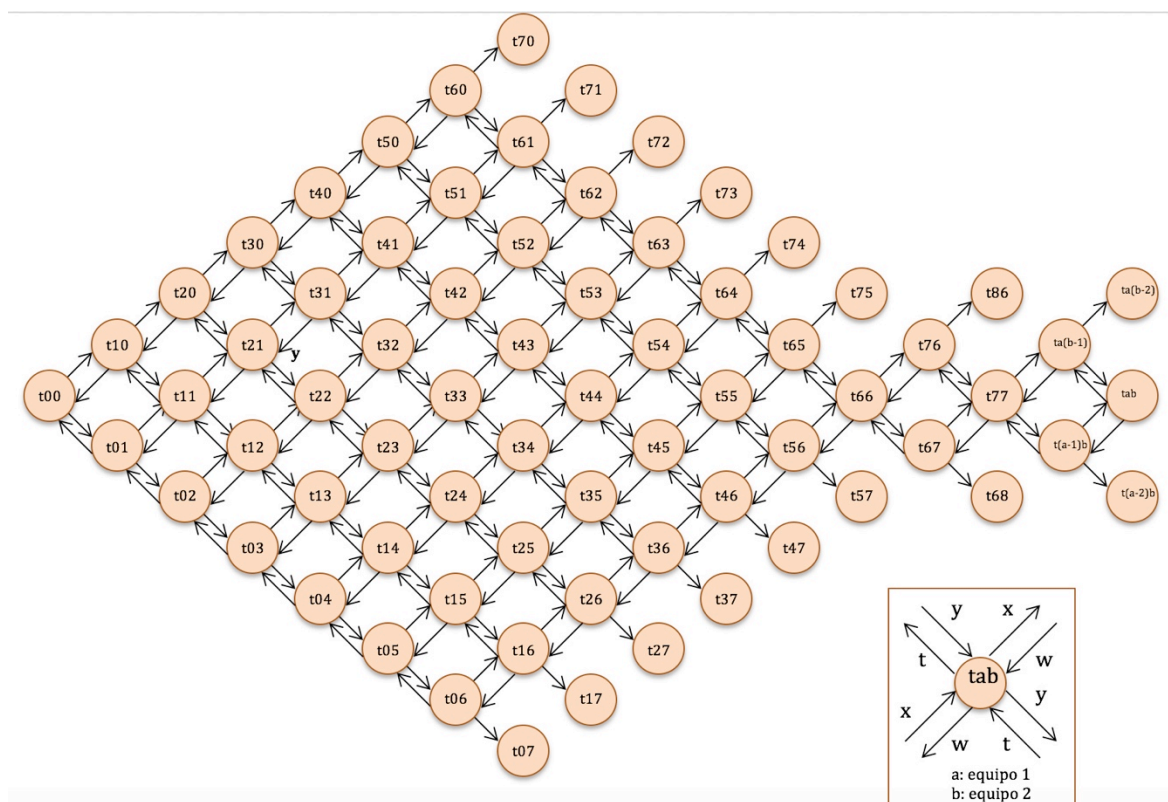


Fig. 6.2.5. Autómata de Moore de los puntos de *Tie-Break*. Fuente: propia.

Para determinar esta probabilidad nos basamos en que se trata de una probabilidad discreta, es decir, del fallo o acierto del jugador o jugadores de cada equipo.

Por ejemplo, un equipo puede ganar un juego o perderlo y puede volver a ganarlo o puede perder dos veces seguidas, también puede ganar y luego perder, o perder y luego ganar. Este ejemplo se puede calcular, y da como resultado una probabilidad de 0,5.

La probabilidad de que cada equipo gane un juego o dos es de 0,5 como se ha explicado en el ejemplo. A partir de esa probabilidad la de llegar a un empate de 5-5 en los sets, es de 0,246, tal y como se calcula con la Ec. 6.2.1., y se calcula igual para un 6-6 y así para cada empate, pero por ejemplo, para pasar de un 5-5 a un 20-20 la probabilidad es de 0,5 elevado a 15, que sería de 3,05E-5, resultado de aplicar la Ec. 6.2.2.

Si estas probabilidades se van multiplicando para obtener la probabilidad total de llegar a por ejemplo, 20-18 o 18-20, el resultado es una probabilidad tan pequeña que se puede despreciar.

$$P(\text{empate } 5 - 5) = \frac{10!}{5!5!} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{10} \quad (\text{Ec. 6.2.1.})$$

$$P(\text{De } 5-5 \text{ a } 20-20) = \left(\frac{1}{2}\right)^{15} \quad (\text{Ec. 6.2.2.})$$

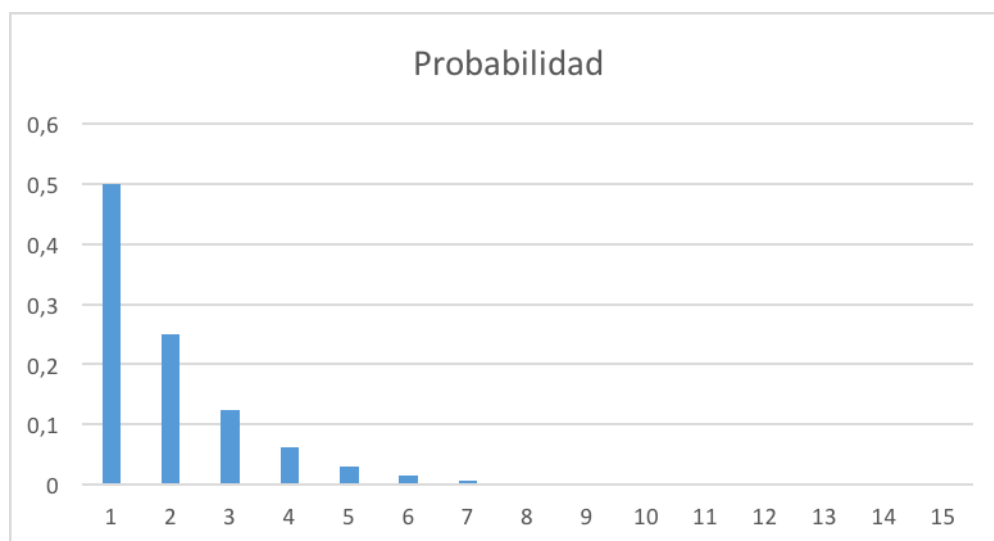


Fig. 6.2.6. Gráfico de la probabilidad de pasar de un empate 5-5 hasta 20-20. Fuente: propia.

En el gráfico se muestra la probabilidad de empatar 5-5 y de seguir empatando hasta 20-20 en el *Tie-Break*, y como se ha explicado anteriormente mediante ecuaciones, la probabilidad disminuye.

Por ese motivo, se ha programado hasta 20-18 y 18-20, teniendo en cuenta también que se trata de un diseño de marcador para aficionados y no profesionales, que puedan superar esa puntuación con unos valores mayores.



## 7. Validación y test

Para el desarrollo completo del prototipo se han realizado una serie de ensayos de componentes y circuitos, tal y como se detalla en los siguientes apartados.

### 7.1. Pruebas de Hardware

Las primeras pruebas que se hicieron fueron de comprobación de los dispositivos electrónicos para corroborar que funcionaban correctamente.

#### 7.1.1. Prueba 1

En la primera prueba se comprueba que funcionan bien los visualizadores siete segmentos, el microcontrolador y el módulo de radiofrecuencia, como se observa en la Fig.7.1.1.1., ya que van a ser una parte muy importante en el proyecto, y seguidamente se van también a ir comprobando el resto de dispositivos electrónicos que se requieren para el prototipo.

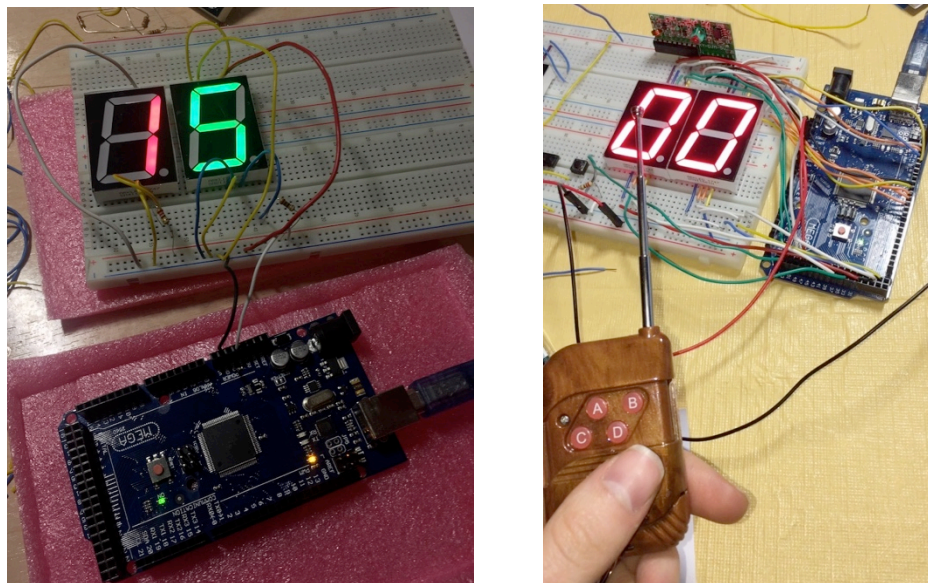


Fig. 7.1.1.1. Pruebas del Hardware comprado. Fuente: propia.

### 7.1.2. Prueba 2

En un principio se diseñó una primera versión del conjunto de hardware y software que consistía en utilizar decodificadores para reducir cables en los visualizadores 7 segmentos correspondientes a los sets. De esta manera, con un decodificador [9], se visualizaría el número que se quisiera con una codificación en binario natural [10]. Por otro lado, los visualizadores 7 segmentos de los puntos de juego irían conectados directamente al microcontrolador, todos por separado, como se observa en la Fig. 7.1.2.1. Este hardware tenía el gran problema de que se utilizaban demasiados cables y demasiadas salidas digitales al microcontrolador, y por ese motivo se planteó una alternativa más óptima. Otro de los problemas que aparecía era que no se iluminaban suficientes visualizadores 7 segmentos y por eso se optó por los interruptores de tipo BJT (*Bipolar Junction Transistor*) que permitieran dejar pasar corriente o no con una frecuencia de activación que creara intermitencias no visibles al ojo humano.

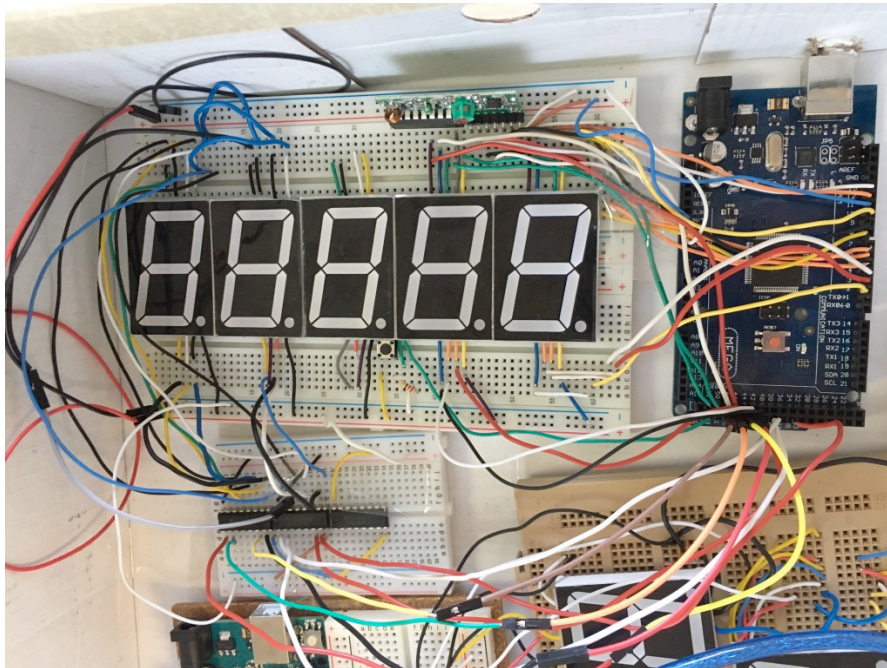


Fig. 7.1.2.1. Hardware inicial con exceso de cableado. Fuente: propia.



## 7.2. Pruebas de Software

Se hicieron dos pruebas del programa general en las que posteriormente se les aplicarían pequeños cambios hasta llegar al programa final que incluía el *Tie-Break*.

La primera prueba hacía referencia a un hardware inicial poco óptimo, y en la segunda prueba se añadió al programa de hardware optimizado, la programación del *Timer*.

### 7.2.1. Prueba 1

Inicialmente y según la prueba de hardware 2, se desarrolló un programa que iba comprobando condicionales, en los que cada uno tenía un estado y, una vez entraba en el condicional, se escribían los segmentos cada uno por separado.

```
if (digitalRead(5)){
  if (statB1==HIGH && x==1)
  {
    digitalWrite(I46G,HIGH); digitalWrite(I48F,HIGH); digitalWrite(I50A,HIGH);
    digitalWrite(I52B,LOW); digitalWrite(I40E,HIGH); digitalWrite(I42D,HIGH);
    digitalWrite(I44C,LOW); digitalWrite(D13F,LOW); digitalWrite(D12G,LOW);
    digitalWrite(D11A,LOW); digitalWrite(D10B,HIGH); digitalWrite(D2E,HIGH);
    digitalWrite(D3D,LOW); digitalWrite(D4C,LOW);
    x=x+1;
    delay(500);
  }
  else if (statB2==HIGH && x==2)
  {
    digitalWrite(I46G,LOW); digitalWrite(I48F,HIGH); digitalWrite(I50A,LOW);
    digitalWrite(I52B,LOW); digitalWrite(I40E,HIGH); digitalWrite(I42D,LOW);
    digitalWrite(I44C,LOW); digitalWrite(D13F,LOW); digitalWrite(D12G,HIGH);
    digitalWrite(D11A,LOW); digitalWrite(D10B,LOW); digitalWrite(D2E,LOW);
    digitalWrite(D3D,LOW); digitalWrite(D4C,LOW);
    x=x+1;
    delay(500);
  }
}
```

Fig. 7.2.1.1. Software inicial con muchos condicionales. Fuente: propia.

Esto requería muchas condiciones y muchas líneas de código que ocupaban demasiada memoria de programa, haciéndolo poco eficiente, como se observa en la Fig. 7.2.1.1.

Por lo tanto, se pensó en hacer un autómata para que el programa fuese más óptimo y en el caso de ser necesario, introducir las condiciones dentro del autómata y así reducir la memoria de programa.

Por otro lado, como en un principio se tenían decodificadores, se utilizó un código que codificaba números binarios a números que se querían visualizar para los sets, a diferencia de los puntos de juego que requerían alguna letra, como se indica en la Tabla 7.2.1.1.

Número requerido	Código en binario natural para decodificador	Número requerido	Código en binario natural para decodificador
0	0000	5	0101
1	0001	6	0110
2	0010	7	0111
3	0011	8	1000
4	0100	9	1001

Tabla. 7.2.1.1 Codificación del decodificador. Fuente: propia.

### 7.2.2. Prueba 2

Una vez mejorada la parte de software correspondiente a los puntos de juego y los puntos de set, que se harían con autómatas, la parte de decodificadores se cambió según el hardware y al utilizar interruptores se pensó en utilizar un *timer* o temporizador, que permitiera encender y apagar los visualizadores tan rápido que, a simple vista, no se aprecie. De manera que se fue probando a diferentes frecuencias según el número de interruptores que se requerían para el hardware.

Se utilizó una frecuencia de 8kHz ya que a 1kHz se apreciaba ese cambio del interruptor de encendido a apagado consecutivo.

Antes de ponerlo en el programa definitivo, se hizo una prueba con LEDs (*Light-Emitting Diode*) estándar, como se observa en la Fig. 7.2.2.1.

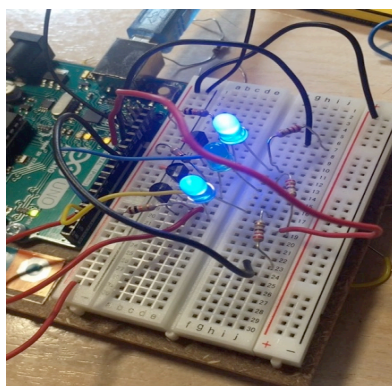


Fig. 7.2.2.1. Pruebas del refresco de LEDs estándar. Fuente: propia.

## 8. Diseño y desarrollo de la cubierta

Para poder hacer la cubierta del hardware se necesita saber en que condiciones estará expuesto el producto.

### 8.1. Tipo de material de la cubierta

Como se trata de un marcador de puntos para pádel y este deporte se juega al aire libre, debe usarse un material resistente a los rayos UV (Ultra Violeta), es decir, que no absorba la radiación térmica del sol, y también resistente a impactos.

Lo primero que se mirará es que sea un material elástico para que, si recibe un impacto de una pelota de pádel, no se rompa frágilmente o se pueda quebrar.

Los materiales más ideales según las restricciones anteriores, son los plásticos de tipo polímero y materiales naturales.

Para saber cuál es el plástico ideal para la cubierta se debe conocer la fuerza de impacto de las pelotas de pádel. En vez de calcular esa fuerza, se calculará la energía que puede absorber el plástico antes de quebrarse, esto se calcula a partir de la velocidad máxima que puede llegar asumir la pelota al ser lanzada.

Para eso se han recogido datos de las velocidades medias registradas de varios tipos de golpe de pelota a mayor y menor nivel de juego como se observa en la Fig. 8.1.1. Seguidamente con esas velocidades se ha calculado la energía por metro desplazado.

	Nivel de juego	
	Medio	Alto
Remate directo	120,57 ± 10,09	123,70 ± 7,29
Remate por tres	104,77 ± 8,70	111,98 ± 9,83
Bajada de pared de derecha	106,40 ± 9,96	109,58 ± 11,53
Bajada de pared de revés	87,23 ± 6,23	89,65 ± 7,99

Fig. 8.1.1. Velocidades según tipo de golpe y nivel de juego expresadas en [Km/h]. Fuente: [https://books.google.es/Nuevos\_avances\_en\_investigación\_en\_pádel].

Para calcular la energía que se absorbe en el impacto, se ha utilizado la Ec. 8.1.1. siguiente en la cual la velocidad está expresada en [m/s] y la masa en [Kg], por lo que antes de aplicarla se hará un cambio a las velocidades de la tabla pasándolas a [m/s].

La masa de las pelotas de pádel es de entre 56 y 59,4 [g], es decir, haciendo una media y pasándola a [Kg] para el cálculo de la energía nos daría de 0,0577 [Kg], como se indica en la Ec. 8.1.2.

$$E = \frac{M \cdot V^2}{2} \quad (\text{Ec. 8.1.1.})$$

$$M = \left( \frac{56+59,4}{2} \right) \cdot \frac{1}{1000} \quad (\text{Ec. 8.1.2.})$$

Los resultados obtenidos de energías, son los de la Tabla 8.1.1, con unidades de [J/m].

<b>Tipo de golpe</b>	<b>Velocidad (juego medio)</b>	<b>Velocidad (juego alto)</b>	<b>Energía (juego medio)</b>	<b>Energía (juego alto)</b>
Remate directo	41,83	34,36	50,48	34,06
Remate por tres	29,10	31,11	24,43	27,92
Bajada de pared de derecha	29,56	30,44	25,21	26,73
Bajada de pared de revés	24,23	24,90	16,94	17,88

Tabla 8.1.1. Resultado del cálculo de energías según tipo de golpe y de juego. Fuente: propia.

De los resultados obtenidos de energías, se deben coger los valores más altos, 50,48 y 34,06 [J/m], que son los que restringen más el tipo de material de la cubierta.

En la Fig. 8.1.2. y la Fig. 8.1.3., se puede ver qué plásticos son idóneos para la cubierta. Se han seleccionado los que resisten a los rayos UV (Ultra Violeta), los que tienen baja conductividad térmica y los que tienen un coste menor.

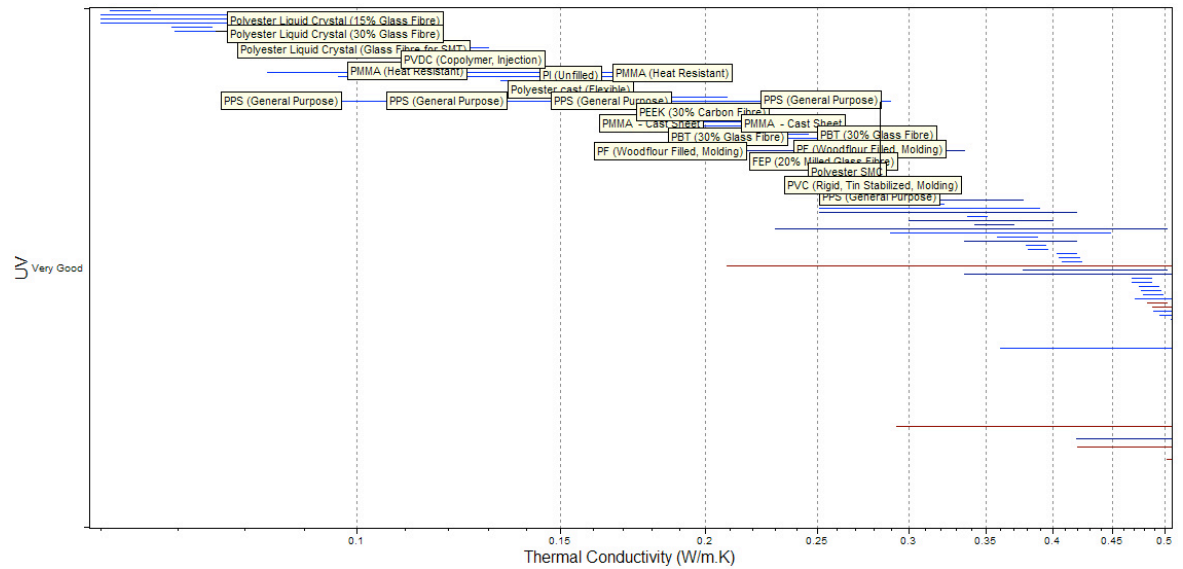


Fig. 8.1.2. Materiales resistentes a los UV y con baja conductividad térmica. Fuente: propia.

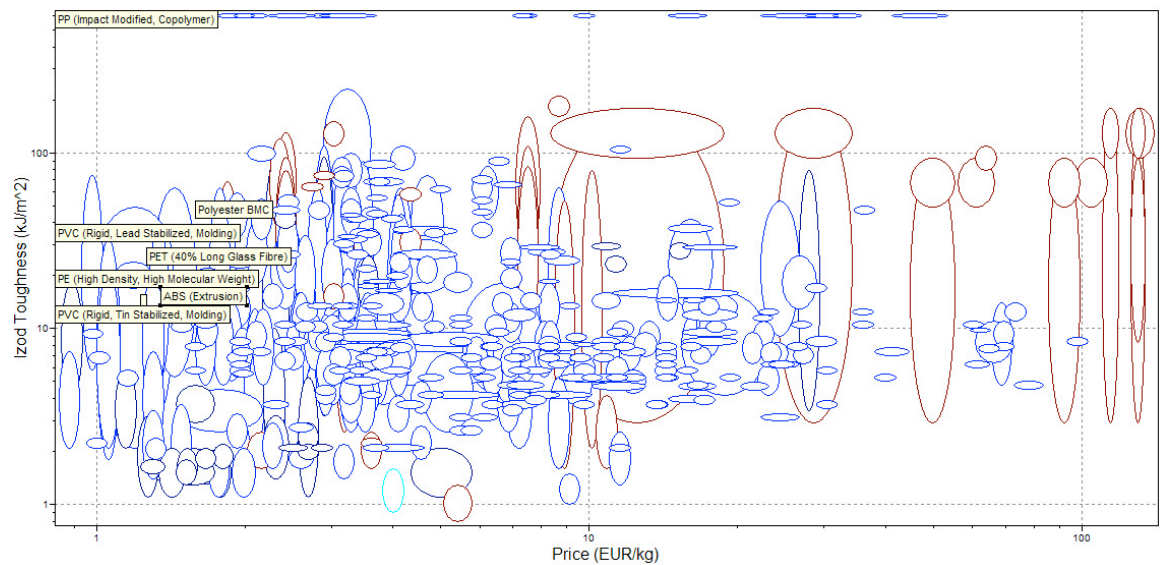


Fig. 8.1.3. Materiales según coste y energía que pueden absorben antes de la rotura. Fuente: propia.

Finalmente una vez escogidos estos 5 polímeros, se miran sus datos de resistencia al impacto para ver si cumplen con los datos recogidos de la velocidad de las pelotas de pádel. Siendo el diámetro medio de una pelota de pádel de 6,56 cm se cogen los valores de energía obtenidos y se dividen entre este diámetro para tener la energía entre metro cuadrado de superficie de impacto.

Comparando el rango de valores obtenidos de energías de impacto anteriores con los de los materiales seleccionados, se puede concluir que los plásticos de la Tabla 8.1.2. aguantan a los impactos de las pelotas de pádel.

Tipo de polímero	Rango de energía mecánica del material [KJ/m <sup>2</sup> ]
PVC rígido	32-35
PVC flexible	11-49
PE	17-24
PET	25-28

Tabla. 8.1.2. Plásticos según la energía que absorben antes de romperse o quebrarse. Fuente: propia.

Se ha seleccionado el PVC (*Polyvinyl Chloride*) rígido para la carcasa del prototipo ya que cumple todas las solicitudes que se han especificado y a la vez es económico.

También se ha pensado en que dos de las seis caras que tendrá esta carcasa, se pondrán transparentes para que se observe todo el hardware utilizado en el proyecto, y el resto de las caras de color negro para un mayor contraste con la iluminación de los visualizadores 7 segmentos.

Tendrá dos agujeros situados, uno en la cara frontal, debido a la necesidad de poner la antena en la cara frontal y el segundo agujero, en la cara posterior para la conexión a la batería del cable de alimentación. En la parte frontal también tendrá dos cortes rectangulares dónde se colocaran los visualizadores 7 segmentos, como se observa en la Fig. 8.1.4.

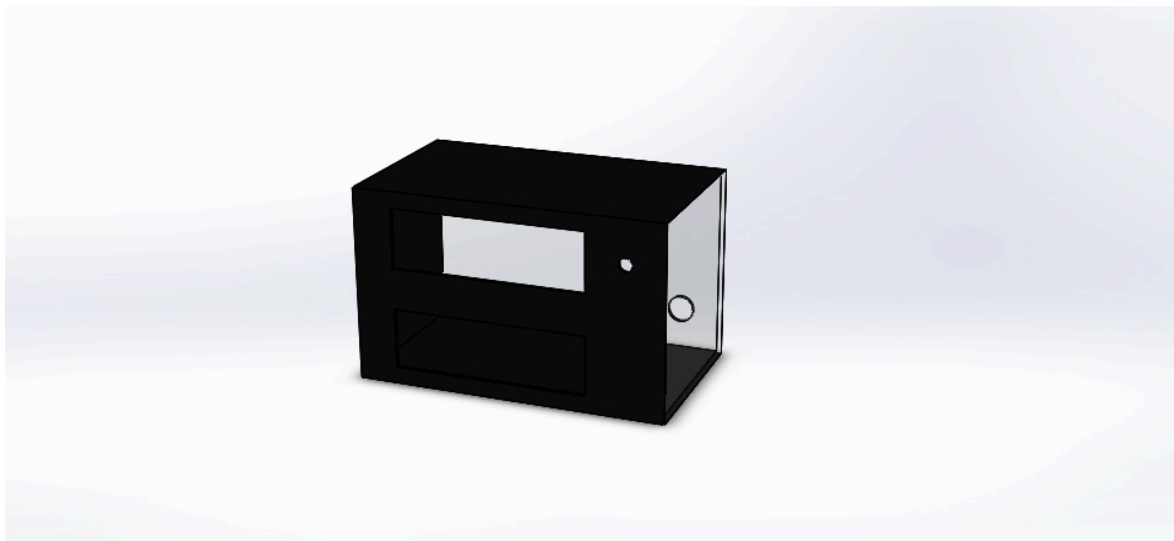


Fig. 8.1.4. Representación en tres dimensiones de la cubierta del proyecto. Fuente: propia.

## 9. Presupuesto

Una vez ya se han hecho las pruebas se procede a comprar los dispositivos electrónicos mencionados anteriormente.

Se ha esquematizado el presupuesto en dos partes, la amortización del ordenador y horas trabajadas para el proyecto y el material comprado para el prototipo. Los costes del prototipo se han dividido en 3 partes, los costes de prototipo, los costes de herramientas y los costes de la maqueta.

### 9.1. Costes de trabajo y amortización

En cuanto a los costes de trabajo se ha calculado según las horas trabajadas en el proyecto, aproximadamente unas 300 horas. Se utiliza un precio estimado de 40 € la hora.

De esta manera queda un coste de 12.000 € por 300 h de trabajo en total.

Por otro lado se tienen los gastos de la amortización del ordenador portátil. Teniendo en cuenta que se ha usado un *Macbook Pro* de 256 GB que costó unos 1.400 €, tenemos una amortización de 22,58 €, calculada con la Ec. 9.1.1.

$$\text{Costes amortización} = 1400\text{€} \cdot \frac{1}{10\text{años}} \cdot \frac{1\text{ año}}{1860h} \cdot \frac{300h}{1\text{año}} \quad (\text{Ec. 9.1.1})$$

Tipo de coste	Coste
Coste de hora trabajadas	12.000 €
Coste de amortización	22,58 €
Coste total	12.022,58 €

Tabla. 9.1.1 Tabla de trabajo y amortización. Fuente: propia.



## 9.2. Costes del prototipo

Para contabilizar los costes del prototipo se ha hecho una tabla con todos los componentes que se han tenido que comprar para el hardware tanto los que se han usado para las pruebas previas como los que se han usado para el hardware de la propuesta. El software era libre, es decir, que era libre para los usuarios, sin costes, y por lo tanto, no ha conllevado gastos para la realización del prototipo.

Material	Coste
10 x Siete segmentos Rojo	9,49 €/lote
10 x Siete segmentos Verde	13,84 €/lote
Módulo de radiofrecuencia 4 canales con mando	4,85 €/unidad
10 x Antenas helicoidales 315MHz	2,84 €/lote
10 x Transistores BJT BC327 PNP	2,40 €/lote
50 x Resistencias 220 Ohm	1,35 €/lote
12 Metros de cable	5,40 €
3 Paneles de prototipaje de 180 agujeros	19,20 €/lote
6 x Decodificadores 7447	7,14 €/lote
50 x Leds de colores de encapsulado tipo DIP	2,71 €/lote
Microcontrolador Arduino uno	17 €
Batería externa 12000mAh	5,70 €
Microcontrolador MEGA de ATMEL.	12,49 €
<b>Coste total del material</b>	<b>104,41 €</b>

Tabla. 9.2.1 Tabla de presupuesto del prototipo. Fuente: propia.

Por otro lado, ha habido gastos también de herramientas para la realización del hardware del prototipo.

Herramienta	Coste
Pelacables	12,80 €
Soldador	6,89 €
Soporte para placas de soldadura	7,35 €
Coste total de las herramientas	27,04 €

Tabla. 9.2.2 Tabla de presupuesto de las herramientas. Fuente: propia.

Después de la realización del prototipo sobre placas de PCB, se hizo una maqueta, es decir se colocaron y soldaron los cables dentro de la cubierta que debía tener el marcador de puntos, con los gastos siguientes.

Material	Coste
Costes de diseño de piezas con cortes	13,94 €
2 x Placas de PVC rígido transparente 3mm	2,25 €
3 x Placas de PVC rígido opaco 3mm	7,55 €
Pegamento de PVC-PVC	5 €
Estaño para soldar	5,57 €
Coste total de la maqueta	34,31 €

Tabla. 9.2.3 Tabla de presupuesto de la maqueta. Fuente: propia.

Los costes totales del proyecto serían la suma de los 3 costes totales de las horas trabajadas y amortización, del prototipo (Hardware y Software) y de la maqueta o cubierta del montaje.

**Costes totales**

Coste total del prototipo	104,41 €
Coste total de herramientas	27,04 €
Coste total de la maqueta	34,31 €
Coste total proyecto	165,76 €

Tabla. 9.2.4 Tabla de costes totales. Fuente: propia.

## 10. Impacto sobre el entorno

En este proyecto se han utilizado diversos componentes tanto para el hardware como para la maqueta y se ha dividido en dos puntos, el impacto ambiental de los componentes del hardware y el impacto ambiental de los componentes de la maqueta o cubierta.

### 10.1. Impacto ambiental de los componentes del hardware

Algunas partes de los componentes electrónicos utilizados en el proyecto pueden contener sustancias tóxicas como el arsénico, cadmio, fósforo, selenio o plomo. Hoy en día, existen diversas empresas que reciclan todos esos módulos electrónicos para la fabricación de nuevos componentes, de esa manera y con un programa de recogida de productos electrónicos, se evita la contaminación directa al medio.

Se pretende utilizar una batería como las que se usan para cargar los móviles como fuente de alimentación del proyecto. Esto conlleva un impacto ambiental importante, ya que las baterías de polímero de litio [11] son contaminantes.

El principal contaminante es el litio, debido a que es una sustancia metálica que reacciona con el nitrógeno, el vapor de agua y el oxígeno. Debido a esas peligrosas reacciones con el aire, se recubre con hidróxido de litio, carbonato de litio y nitrato de litio, lo que permite que no haya corrosión al ser expuesto al medio. Si se diera una reacción corrosiva, podría afectar a la fauna y la flora acuáticas.

Por otro lado, el excesivo calentamiento de la batería podría provocar una explosión liberando sustancias en suspensión en el aire, creando vapores tóxicos e incluso muchas reacciones con sustancias que se encuentran en la naturaleza, afectando directamente al medio ambiente.

Hoy en día, se utilizan técnicas para reciclar cuidadosamente el litio de muchas baterías. Esto conlleva una disminución de efectos y riesgos para el medio ambiente.

Los principales procesos de reciclaje de litio se basan en la recuperación ultrasónica [12], que trata de recuperar el litio que se encuentra en dichas baterías para reutilizarlo al fabricar una nueva. Este proceso se lleva a cabo con ácidos orgánicos, que son respetuosos con el medio ambiente debido a su proceso posterior de biodegradación.



Figura. 10.1.1 Cavitación ultrasónica. Fuente: [<https://www.hielscher.com>].

## 10.2. Impacto ambiental de los materiales de la cubierta

El PVC (*Polyvinyl Chloride*) rígido, material de la cubierta, no interacciona con otras sustancias a temperatura ambiente. Ello quiere decir que no es un plástico toxico para el medio ambiente.

Para reciclar este tipo de plástico existen tres maneras [14].

El reciclaje mecánico, que consiste en moler el PVC (*Polyvinyl Chloride*) desechado, luego se le añade un aditivo y se vuelve a crear una pieza.

El reciclaje químico, que consiste en someter el PVC (*Polyvinyl Chloride*) a procesos químicos de baja temperatura y presión para descomponerlo y crear nuevos productos como aceites y gases.

Finalmente el reciclaje energético, que trata de quemar el PVC (*Polyvinyl Chloride*) creando una combustión y utilizar la energía del material producida en la combustión.



Fig. 10.2.1 Símbolo del reciclaje del PVC. Fuente: [<https://es.wikipedia.org>].

## 11. Agradecimientos

Agradezco a Juan Manuel Moreno Eguilaz, director y tutor de este proyecto, lo mucho que me ha ayudado sobretodo con la parte de programación del software, así como la mejora de el prototipo y hardware.

## Conclusiones

La conclusión del proyecto es que en un principio a nivel de mercado se puede crear esta necesidad de marcador para el deporte del pádel a nivel usuario, porque se trata de un producto innovador.

La viabilidad técnica es positiva, debido a que se cumplen las especificaciones descritas de cada componente y aplicadas al prototipo, se obtiene un resultado satisfactorio. De forma análoga al hardware, el software ha sido posible con el desarrollo de un único programa que implementa tanto el funcionamiento del control remoto, como el refresco de los visualizadores 7 segmentos, la iluminación correcta de cada Led según su código y los autómatas asociados a la puntuación de pádel. Una posible mejora del hardware sería la creación de una placa de circuito impreso PCB (*Printed Circuit Board*) con todas las conexiones descritas anteriormente y una mejora de software podría ser la utilización de un microcontrolador más barato.

El estudio de la cubierta ha sido muy acertado, puesto que se ha conseguido, mediante el estudio de diversos materiales, llegando a escoger un material perfecto que cumpliera todas las restricciones descritas y con un diseño óptimo de bajo peso para el usuario.

Los costes totales que se ven en los presupuestos son un poco elevados, dado que se trata de un prototipo. Si se quiere conseguir un producto a menor precio del estipulado según el cuestionario al usuario, la fabricación en serie del marcador de puntos podría reducir considerablemente estos costes, ya que como se ha comentado, el hardware se haría en placas impresas mucho más pequeñas y menos costosas en grandes cantidades. Los costes de la maqueta son realmente bajos en comparación a la utilización de otro material, ya que los plásticos en general son materiales muy baratos.

Por último y de gran importancia, vale la pena destacar el hecho de que se usan materiales reutilizables, tanto en la parte electrónica como en la parte de la maqueta. Ello puede ser positivo si se quiere comercializar el producto y reducir costes, que es un punto importante a la hora de crear algo de bajo coste.

# Bibliografia

## Referencias bibliográficas

- [1] [<https://es.wikipedia.org/wiki/Atmel>, 5 de Marzo de 2018]
- [2] [<http://www1.frm.utn.edu.ar/aplicada3/apuntes/unidad8.pdf>, 8 de Marzo de 2018]
- [3] [[https://es.wikipedia.org/wiki/Modulación\\_por\\_desplazamiento\\_de\\_amplitud](https://es.wikipedia.org/wiki/Modulación_por_desplazamiento_de_amplitud), 10 de Mayo del 2018]
- [4] UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA, Barcelona, Diapositives del Departament d'Enginyeria Electrònica M2-T7, 2016.
- [5] [<https://arduinoobot.pbworks.com/f/Manual+Programacion+Arduino.pdf>, 15 de Marzo de 2018]
- [6] UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA, Barcelona, Diapositives del Departament d'Enginyeria Electrònica M4-T24, 2016.
- [7] [<https://www.prometec.net/timers/>, 20 de Marzo del 2018]
- [8] UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA, Barcelona, Diapositives del Departament d'Enginyeria Electrònica M4-T28, 2016.
- [9] UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA, Barcelona, Diapositives del Departament d'Enginyeria Electrònica M4-T26, 2016.
- [10] UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA, Barcelona, Diapositives del Departament d'Enginyeria Electrònica M4-T24, 2016.
- [11] [[https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa\\_de\\_pol%C3%ADmero\\_de\\_litio](https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_pol%C3%ADmero_de_litio), 15 de Mayo del 2018]
- [12] [<https://www.hielscher.com/es/ultrasonics-for-the-recycling-of-lithium-ion-batteries.htm>, 2 de Junio de 2018]
- [13] [<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/10/reciclado-de-pvc.html>, 10 de Junio de 2018]



## Bibliografía complementaria

- Empresas fabricantes de marcadores de pádel

<https://www.tamtoo.com>

<https://www.technologysport.com/tienda/es/39-marcadores>

<http://www.cuma.es/productos/marcadores-deportivos/marcadores-electronicos-tenis-y-padel.html>

[https://www.technologysport.com/tienda/es/home/551-marcador-de-red-deluxe.html?search\\_query=tenis&results=260](https://www.technologysport.com/tienda/es/home/551-marcador-de-red-deluxe.html?search_query=tenis&results=260)

- Puntuación del pádel

<https://www.empadelados.com/puntuacion-padel/>

- Información sobre módulos de radiofrecuencia

[http://www.bolanosdj.com.ar/TEORIA/MODULOS\\_DE\\_RF.pdf](http://www.bolanosdj.com.ar/TEORIA/MODULOS_DE_RF.pdf)

- Estadísticas del *tie-break*

[http://matematicasentumundo.es/DEPORTES/tenis\\_record.htm](http://matematicasentumundo.es/DEPORTES/tenis_record.htm)

- Velocidades de golpe de pelotas de pádel:

<https://books.google.es/books?id=umctDwAAQBAJ&pg=PA56&dq=velocidades+de+pelotas+de+padel&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjBtpiRss7bAhVMxaYKHYDZBxwQ6AEIKDAA#v=onepage&q&f=false>

- Tabla propiedades del PVC (*Polyvinyl Chloride*)

[https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15\\_4.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_4.html)

- Pesos de pelotas pádel

<http://www.tennisballsaver.com.es/la-verdad-sobre-la-diferencia-entre-pelotas-de-tenis-y-pelotas-de-padel/>

- Reciclaje de baterías

[https://es.wikipedia.org/wiki/Reciclaje\\_de\\_pilas\\_y\\_bater%C3%ADas](https://es.wikipedia.org/wiki/Reciclaje_de_pilas_y_bater%C3%ADas)

- Reciclaje del PVC (*Polyvinyl Chloride*) rígido

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/10/reciclado-de-pvc.html>